

⑤① Int. Cl. <sup>3</sup> = Int. Cl. <sup>2</sup>

Int. Cl. <sup>2</sup>:

**H 01 S 3/07**

①⑨ **BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND**



**DE 28 44 129 A 1**

①①

# **Offenlegungsschrift 28 44 129**

②①

Aktenzeichen: P 28 44 129.4

②②

Anmeldetag: 10. 10. 78

④③

Offenlegungstag: 24. 4. 80

③①

Unionspriorität:

③② ③③ ③① —

⑤④

Bezeichnung: Longitudinal gepumpter YAG zu Nd<sup>3+</sup>-Faserlaser

⑦①

Anmelder: Siemens AG, 1000 Berlin und 8000 München

⑦②

Erfinder: Schiffner, Gerhard, Dipl.-Ing. Dr., 8000 München

**DE 28 44 129 A 1**

- / -

VPA 78 P 7167 BRD

Patentansprüche

1. Faserlaser, bestehend aus
- a) einem laseraktiven Faserkern, insbesondere einer  
5 einkristallinen Faser aus Yttrium-Aluminium-Granat  
und einer Neodym<sup>3+</sup>-Dotierung,
  - b) zwei sich jeweils über eine Stirnfläche des Faser-  
kerns erstreckende Spiegel,
  - c) einer lichtemittierenden Halbleiterdiode an einem  
10 Faserende, deren Emissionsfläche sich über die  
spiegelbedeckte Faserkernstrahlfläche erstreckt,  
und
  - d) einem den Faserkern zylindrisch umgebenden Mantel  
aus einem verlustfreien Dielektrikum, dessen  
15 Brechungsindex kleiner ist als der Brechungsindex  
des Faserkerns, und d a d u r c h g e k e n n -  
z e i c h n e t , daß
  - e) der Mantel (2) von einer an der Berührungsfläche  
(4) verspiegelten Hülle (3) umgeben ist und
  - 20 f) die lichtemittierende Fläche (6) der Halbleiter-  
diode (5) sich auch über die Stirnfläche (8)  
des Mantels erstreckt.
2. Faserlaser nach Anspruch 1, d a d u r c h  
25 g e k e n n z e i c h n e t , daß sich der Spiegel  
(10) am anderen Faserende auch über die entsprechende  
Mantelstirnfläche erstreckt.
3. Faserlaser nach Anspruch 1 oder 2, d a d u r c h  
30 g e k e n n z e i c h n e t , daß der Mantel (2)  
sich von der Lumineszenzdiode (5) aus in Faserrichtung  
konisch verjüngt.
4. Faserlaser nach Anspruch 1, d a d u r c h  
35 g e k e n n z e i c h n e t , daß am anderen Faser-

- 2 - VPA **78 P 7167 BRD**

ende eine zweite, ringförmige lichtemittierende Halbleiterdiode (20) angeordnet ist, deren Emissionsfläche (21) sich über die entsprechende Mantelstirnfläche erstreckt.

5

5. Faserlaser nach Anspruch 4, d a d u r c h  
g e k e n n z e i c h n e t , daß der Mantel (2)  
sich von beiden Halbleiterdioden (5, 20) aus zur  
Fasermittle hin konisch verjüngt.

SIEMENS AKTIENGESellschaft  
Berlin und München

Unser Zeichen  
VPA 78 P 7 167 BRD

5 Longitudinal gepumpter YAG:Nd<sup>3+</sup>-Faserlaser

Die Erfindung betrifft einen Faserlaser, dessen Merkmale im Oberbegriff des Anspruchs 1 angegeben sind.

- 10 Laser mit Neodym als aktiven Atomen in einem Wirtskristall aus Aluminiumoxid und Yttriumoxid (Yttrium-Aluminium-Granat,  $Y_3Al_5O_{12}$ , "YAG") besitzen gegenüber anderen Lasern viele Vorzüge, insbesondere einen geringen Schwellwert. Da dieser Laser mit lichtemittierenden Halbleiterdioden (LED) gepumpt werden kann,
- 15 ferner die für Übertragungen mittels Lichtleitfasern günstige Wellenlänge von 1,06  $\mu m$  aufweist und außerdem seine Strahlung sich auf einfache Weise in Lichtleitfasern einkoppeln läßt, ist dieser Laser als
- 20 Quelle für optische Nachrichtenübertragungen mit Lichtleitfasern von Interesse. Es ist bereits mehrfach vorgeschlagen worden, einen derartigen Neodym-

Kbl 2 Hag / 3.10.1978

- 2 - 4 VPA 78 P 7 167 BRD

laser als Faserlaser herzustellen (Applied Optics 13 (1974) Seiten 1256 bis 1258, Applied Physics Letters 26 (1975), Seiten 318 bis 320 und 29 (1976) Seiten 37 bis 39 und Laser Focus, April 1977, Seiten 16  
5 bis 18). Es können aber auch andere Lasermaterialien verwendet werden, die sich in Faserform herstellen lassen.

- Der in der letztgenannten Literaturstelle beschriebene Laser besteht aus einer Stufenprofil-Lichtleitfaser mit einer Laser-aktiven YAG:Nd-Faser als Kern und einem Quarzglasrohr (Brechungsindex etwas kleiner als der Brechungsindex des Kernes) als Mantel. Der Faserkern (Laserfaser) ist an beiden Enden verspiegelt, wobei die Spiegel die Mantelstirnflächen nicht überdecken. Zum Pumpen der Laserfaser wird eine Lumineszenzdiode verwendet, deren Pumpstrahlung von einem Ende her durch den an dieser Faserstirnfläche befindlichen Spiegel hindurch in die Laserfaser eingekoppelt wird. Der lichtemittierende p-n-Übergang der Lumineszenzdiode erstreckt sich dabei im wesentlichen nur über die entsprechende Stirnfläche der Laserfaser.
- Es hat sich nun gezeigt, daß für die optische Nachrichtenübertragung mittels Lichtleitfasern Laser-Ausgangsleistungen in Milliwattbereich benötigt werden. Die hierfür benötigten Pumpleistungsdichten liegen an der Grenze der Leistungsfähigkeit heutiger Lumineszenzdioden. Derartige Hochleistungs-Lumineszenzdioden dürften jedoch eine geringe Lebensdauer besitzen, sind aufwendig und bisher nicht handelsüblich.

- 6 - 5 VPA 78 P 7167 BRD

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen Faserlaser mit einer entsprechenden Pumpanordnung zu finden, für den verhältnismäßig geringe Pumpleistungsdichten benötigt werden.

5

Diese Aufgabe wird durch einen Faserlaser der im Anspruch 1 angegebenen Art gelöst.

10 Gemäß der Erfindung werden großflächige Lumineszenzdioden verwendet. Das von diesen Dioden emittierte Licht wird zu einem erheblichen Teil in den Mantel aus verlustfreiem Dielektrikum eingestrahlt, gelangt jedoch nach Reflexion an der verspiegelten Grenzfläche zwischen Mantel und Hülle in die aktive Laserfaser  
15 (Faserkern) und wird dort unter Anregung der Neodym-Atome weitgehend absorbiert.

Vorteilhaft erstreckt sich der zwischen der Lumineszenzdiode und dem entsprechenden Faserende  
20 angeordnete Spiegel nur über die Stirnfläche des Faserkerns. Das von den äußeren Bereichen der Lumineszenzdiode eingestrahlte Licht kann dann ungehindert in den Mantel eintreten. Bevorzugt erstreckt sich jedoch der am anderen Faserende angeordnete Spiegel sowohl über die Kernstirnfläche wie  
25 über die Mantelstirnfläche, um einen möglichst großen Anteil des innerhalb der verspiegelten Hülle befindlichen Lichtes zu reflektieren. Eine hohe Pumpleistung bei noch niedrigeren Pumpleistungsdichten der verwendeten Lumineszenzdioden erhält man durch  
30 Verwendung einer zweiten Lumineszenzdiode, die an dem der ersten Lumineszenzdiode entgegengesetzten Faserende angeordnet ist und unter Aussparung der Faserkernstirnfläche die Mantelstirnfläche bedeckt.  
35 Mittels dieser zweiten Laserdiode kann dann auch

- 4 - 6 VPA 78 P 7167 BRD

von der anderen Seite Pumpstrahlung in den Mantel und - nach Reflexion an der verspiegelten Hülle - in die Laserfaser eingekoppelt werden. Durch die Aussparung wird das Laserlicht ausgekoppelt. Außerdem ist es vorteilhaft, wenn sich der Mantel von den Lumineszenzdiolen ausgehend längs der Faser konisch verjüngt. Man erhält dann einen Strahlengang, bei dem die Pumpstrahlung bereits nach kurzen in dem Manteldielektrikum verlaufenden Wegen in die aktive Laserfaser reflektiert wird. Die Verjüngung bewirkt eine Fokussierung der Pumpstrahlung auf den laseraktiven Kern.

Bei üblichen Faserlasern ist die zur geforderten Anregung nötige Pumpleistung bei Faserlängen über etwa 7 mm (bei einer Wellenlänge von 800 nm der Pumpstrahlung) von der Länge der Faser weitgehend unabhängig, so daß die optimale Faserlänge bei etwa 7 mm liegt und durch längere Fasern keine bessere Ausnutzung der Pumpstrahlung erreicht werden kann. In dem verlustarmen Medium des Mantels findet jedoch eine geringere Absorption als in der aktiven Laserfaser statt und für die teilweise im Mantel und teilweise in der Laserfaser verlaufende Strahlengänge ergibt sich somit eine größere optimale Länge (z.B. 15 mm). Der Faserdurchmesser liegt dabei vorteilhaft etwa bei 1 mm.

Anhand von drei Ausführungsbeispielen und drei Figuren wird die Erfindung näher erläutert.

In Fig. 1 ist schematisch ein Faserlaser mit nur einer Lumineszenzdiode und einer konzentrisch-konischen Anordnung von Mantel und Hülle dargestellt. Fig. 2 zeigt schematisch eine Anordnung mit zwei

- 8 - 7 VPA 78 P 7 167 BRD

Lumineszenzdiode und konzentrisch-zyklischer  
Anordnung von Mantel und Hülle, Fig. 3 einen  
entsprechenden Faserlaser mit doppelt-konischer  
Anordnung von Mantel und Hülle.

5

Mit 1 ist die aktive Laserfaser, mit 2 der die  
Faser konzentrisch umgebende Mantel, mit 3 die am  
Mantel anliegende Hülle und mit 4 die Verspiegelung  
der Hülle an der Grenzfläche zum Mantel bezeichnet.

- 10 Das Fasermaterial ist  $Y_3Al_5O_{12}$  mit einer Neodym-  
Dotierung von etwa 1 Atom-%. Als Hülle dient ein  
Quarzglas-Rohr, auf dessen Innenfläche eine Metall-  
verspiegelung angebracht ist. Es kann aber auch ein  
mit einer entsprechenden spiegelnden Fläche ver-  
15 sehens Metallrohr oder ein anderes Material ver-  
wendet werden. Der Mantel besteht aus einem verlust-  
armen (d.h. hochtransparenten) dielektrischen Medium,  
dessen Brechungsindex unter dem Brechungsindex der  
Laserfaser liegt, also z.B. Quarzglas oder eine  
20 Flüssigkeit (z.B. Glyzerin) oder ein Kunststoff  
(z.B. Polysiloxan).

- Die Wellenlänge des Laserlichtes liegt bei  $1,06 \mu m$ ,  
zum Pumpen wird ein Licht mit einer Wellenlänge von  
25 etwa 810 nm benötigt. Hierzu dient eine licht-  
emittierende Halbleiterdiode (Halbleiter-Lumineszenz-  
diode) 5, dessen Lichtemission dieser Wellenlänge  
angepaßt ist, z.B. eine Gallium-Aluminium-Arsenid-  
Lumineszenzdiode. Der lichtemittierende p-n-Übergang  
30 6 der Lumineszenzdiode ist großflächig ausgebildet  
und steht planparallel dem einen Ende von Faser-  
und Mantel gegenüber, wobei sowohl die Faserstirn-  
fläche 7 wie die Mantelstirnfläche 8 von der licht-  
emittierenden Fläche bedeckt wird. Zwischen diesen  
35 Stirnflächen und der Lumineszenzdiode wird eine



- 8 - 8 VPA 78 P 7167 BRD

dielektrische Spiegelschicht angeordnet. Diese Spiegelschicht ist derart an die auftretenden Wellenlängen angepaßt, daß sie für das Laserlicht möglichst vollständig reflektierend ist, jedoch vom Pumplicht

5 möglichst ungeschwächt durchdrungen werden kann. Beim Ausführungsbeispiel nach Fig. 1 ist die der Lumineszenzdiode 5 zugewandte Faserstirnfläche mit einer das Laserlicht reflektierenden Schicht 9 verspiegelt. Am anderen Faserende ist ein Glasplättchen

10 10 angeordnet, das eine Reflexionsschicht trägt, die für die Laserwellenlänge ( $1,06 \mu\text{m}$ ) eine geringe Durchlässigkeit besitzt und ein Auskoppeln des Laserstrahls bei gleichzeitiger Reflexion des Pumplichts ermöglicht. Dieser Spiegel erstreckt sich

15 über die gesamte Stirnfläche von Faser und Mantel.

Der in Fig. 1 gezeigte Strahlengang macht deutlich, daß das von der großflächigen Lumineszenzdiode emittierte Pumplicht durch die Stirnflächen von

20 Mantel und Faser hindurch in die aktive Laserfaser geleitet wird, wobei der überwiegende Anteil des Pumplichtes zunächst im transparenten Mantelmaterial geleitet wird und erst nach Reflexion an der Verspiegelung 4 auf die Laserfaser trifft und dort

25 absorbiert werden kann. Ohne Verwendung der innen verspiegelten Hülle 3 wäre dieser Hauptanteil des Pumplichtes verloren. Die Anordnung gestattet daher, die angestrebte stärkere Anregung mit einer verhältnismäßig geringen Dichte der Lumineszenzstrahlungs-

30 leistung zu erreichen.

Bei dem Faserlaser nach Fig. 2 ist die Laserfaser 1 und der hochtransparente Mantel 2 nach Art einer Stufenprofil-Lichtleitfaser konzentrisch ausgebildet,

35 wobei an den Mantel die Verspiegelung 4 einer

- 1 - 9 VPA 78 P 7167 BRD

konzentrischen zylindrischen Hüllen 3 anschließt.  
Entsprechend der Lumineszenzdiode 5 ist am anderen  
Faserende eine Lumineszenzdiode 20 angeordnet, die  
unter Aussparung eines Fensters zum Austritt des  
5 Laserlichtes (Strahl 12) aus der Laserfaser ring-  
förmig ausgebildet ist. Die lichtemittierenden  
p-n-Übergänge 6 und 21 sind großflächig, so daß  
das emittierte Licht teilweise in die Laserfaser,  
zum größten Teil jedoch, wie in dem Strahlengang  
10 dargestellt ist, in den hochtransparenten Mantel  
eingestrahlt wird. Zwischen den Lumineszenzdioden  
und den Stirnflächen von Faser und Mantel ist wieder-  
um ein Glasplättchen 11 mit einer dielektrischen  
Spiegelschicht 10 für die Laserwellenlänge und  
15 ein entsprechendes Glasplättchen 22 mit Spiegel-  
schicht 23 am anderen Faserende angeordnet.

Einen noch günstigeren Strahlengang mit einem noch  
größeren Öffnungswinkel für die Pumpstrahlung er-  
20 hält man, wenn entsprechend Fig. 3 die Grenzfläche  
zwischen Mantel und Hülle doppelt konisch ausgebildet  
ist und sich von den beiden Lumineszenzdioden aus zur  
Mitte der Laserfaser hin verjüngt. Die im übrigen  
gleichen Elemente des Faserlasers nach Fig. 3 tragen  
25 die Bezugszeichen der Fig. 2.

Die Erfindung gestattet die Verwendung von  
Lumineszenzdioden als Pumplichtquellen, die zur Er-  
zeugung einer hinreichend hohen Anregung der Laser-  
30 faser nicht auf eine besonders starke Emissions-  
dichte ausgelegt werden müssen, sondern mit  
mittleren Emissionsdichten auskommen.

5 Patentansprüche

3 Figuren

ZusammenfassungLongitudinal gepumpter YAG:Nd<sup>3+</sup>-Faserlaser

- 5 Die Erfindung betrifft einen YAG:Nd-Faserlaser mit einer Laserfaser (1), die von einem transparenten Mantel (2) niedrigerer Brechzahl umgeben, an den Enden verspiegelt ist (9, 10) und von einer Halbleiter-Lumineszenzdiode (5) longitudinal gepumpt
- 10 wird. Erfindungsgemäß erstreckt sich die Lumineszenzdiode über die ganze Stirnfläche von Kern und Mantel und der Mantel ist von einer an der Berührungsfläche (4) verspiegelten Hülle (3) umgeben. Ein Teil des Pumplichtes wird in den Mantel eingestrahlt und
- 15 trifft nach Reflexion an der verspiegelten Hüllen-Innenfläche auf das aktive Lasermaterial. Dadurch können Lumineszenzdioden geringerer Strahlungsdichte verwendet werden. Der Faserlaser eignet sich insbesondere zur optischen Nachrichtenübermittlung mit
- 20 Lichtfasern (Fig. 1).

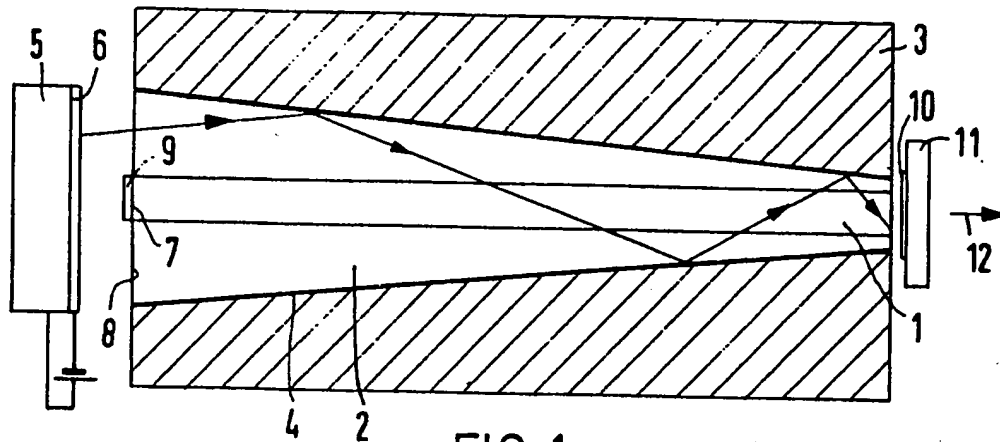


FIG 1

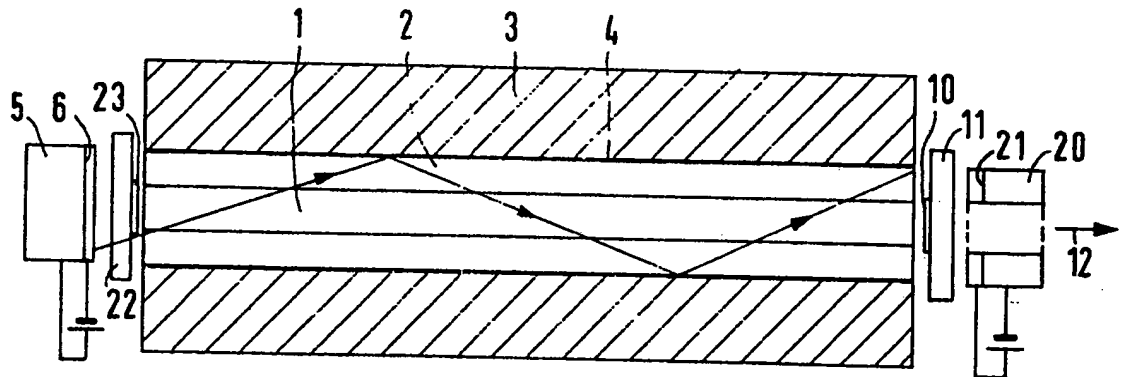


FIG 2

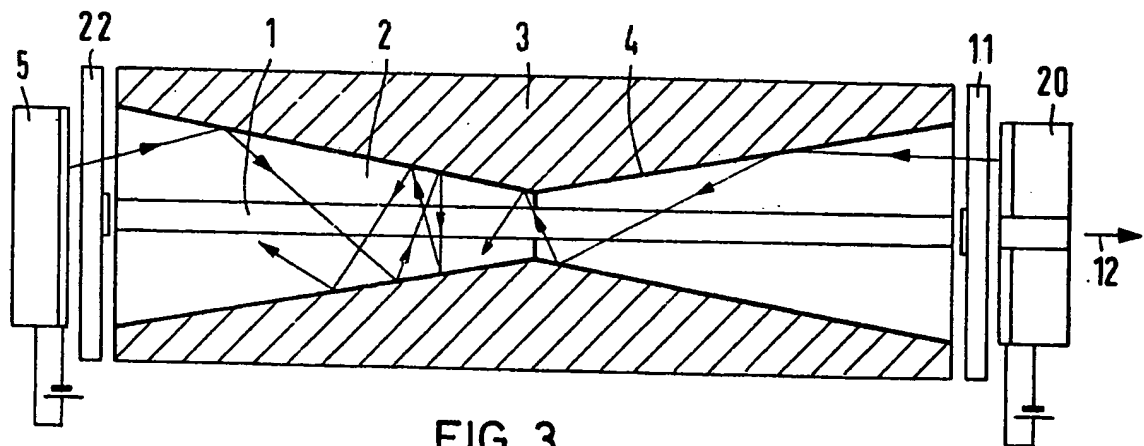


FIG 3